

깊이 카메라를 이용한 호흡률 측정에 미치는 영향 요인 분석

Affecting Factor Analysis for Respiration Rate Measurement Using Depth Camera

오경택* · 신증수** · 김정민** · 장원석* · 유선국*†
Kyeong-Taek Oh* · Cheung-Soo Shin** · Jeongmin Kim**
Won-Seuk Jang* · Sun-Kook Yoo*†

*연세대학교 의과대학 의학공학교실

*Department of Medical Engineering, Yonsei University College of Medicine

**연세대학교 의과대학 마취통증의학교실

**Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Yonsei University College of Medicine

Abstract

The purpose of this research was to analyze several factors that can affect the respiration rate measurement using the Creative Senz3D depth camera. Depth error and noise of the depth camera were considered as affecting factors. Ambient light was also considered. The result of this study showed that the depth error was increased with an increase of the distance between subject and depth camera. The result also showed depth asymmetry in the depth image. The depth values measured in right region of the depth image was higher than real distance and depth values measured in left of the depth image was lower than real distance. The difference error of the depth was influenced by the orientation of the depth camera. The noise created by the depth camera was increased as the distance between subject and depth camera was increased and it decreased as the window size was increased which was used to calculate noise level. Ambient light seems to have no influence on the depth value. In real environment, we measured respiration rate. Participants were asked to breathe 20 times. We could find that the respiration rate which was measured from depth camera shows excellent agreement with that of participants.

Key words: Affect Factor Analysis, Depth Camera, Depth Sensor, Non-contact, Respiration, Respiration Rate

요 약

본 논문은 깊이 카메라(Creative Senz3D)를 이용하여 호흡률을 측정하는 것에 대한 정확도와 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 영향 요인 분석에서는 깊이 카메라가 가지는 깊이 값에 대한 오차와 노이즈 그리고 주위 조도의 영향에 대하여 실험 연구를 진행하였다. 그 결과 깊이 카메라와 측정 대상의 거리가 증가함에 따라 깊이 값의 오차가 증가하였고 깊이 영상의 오른쪽은 실제 거리보다 깊이 값이 크게 측정되고 왼쪽은 실제 거리보다 깊이 값이 작게 측정되었다. 이에 따라 깊이 값이 영상의 영역에 따라 비대칭성을 가지고 있음을 알 수 있었다. 깊이 카메라와 측정 대상의 각도가 틀어짐에 따라서도 깊이 값의 차의 오차가 증가하였으며 깊이 카메라의 노이즈는 측정 거리가 멀어짐에 따라 점점

† 교신저자 : 유선국 (연세대학교 의과대학 의학공학교실)

E-mail : SUNKYOO@yuhs.ac

TEL : 02-2228-1919

FAX : 02-363-9923

증가하였고 노이즈를 측정하는 윈도우의 크기가 증가함에 따라 감소하였다. 주위 조도는 깊이 값에 영향을 주지 않았다. 또한 실제 상황에서 사람을 대상으로 20회 호흡을 하게 하여 깊이 카메라를 이용해 호흡률을 측정하였고 호흡률이 제대로 측정됨을 확인하였다.

주제어: 요인 분석, 깊이 카메라, 깊이 센서, 비접촉, 호흡, 호흡률

1. 서론

감정의 영향을 분석하는데 있어서 호흡률의 측정은 감정의 요인 해석에 있어 매우 중요하다. 또한 호흡률은 신체의 상태와 기능을 나타내는 중요한 신호인 4대 활력징후(vital sign) 중 하나로서 심박변이도(heart rate variability: HRV)에 많은 영향을 주며, 허혈성 심장병 환자의 상태나 신생아의 호흡장애 증후군의 발병을 모니터링 하는데 매우 중요한 자료가 된다. 이외에도 갑작스런 호흡장애는 생명과 직결되고 짧은 시간에 대처를 해야 하므로 많은 경우에 있어서 호흡률의 측정은 매우 중요하다(Scopesi et al, 2007). 환자의 호흡률을 측정하기 위해 환자의 몸에 직접적으로 센서를 부착해 호흡 신호를 획득하는 여러 가지 연구가 진행되었다(Cho et al, 2012). 하지만 환자의 몸에 직접적으로 센서를 부착하는 방법은 환자에게 불편함을 야기할 수밖에 없다. 환자의 불편을 해소하기 위하여 센서를 부착하지 않고 호흡을 측정하는 시스템에 대한 다양한 연구가 진행되었다(Singh et al, 2011; Devis et al, 2009; Aliverti et al, 2000). 하지만 이러한 방법들은 장치를 사용하는데 복잡한 설치 환경과 장치의 미세 조정이 필요했다. 2010년 이후로 Kinect에 이어서 저렴하게 구매할 수 있는 깊이 카메라가 등장하면서 보다 간편히 호흡을 측정할 수 있는 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어 졌다. Yu 등(2012)은 흉부의 움직임을 측정하여 호흡량을 측정하고 흉부의 기형에 의한 폐 질환을 검사하는 방법을 제시하였고, Tahavori 등(2012)은 호흡률을 측정하는 방법을 제시하고 정확도를 분석하였다. 그리고 Bernacchia 등(2014)의 연구에 의하면, 심장 박동과 호흡수를 측정하는 방법을 제시하였다. 위 방법들은 모두 호흡률 자체의 정확도만을 분석하고 이외에 호흡률을 측정하는데 영향을 미치는 요인에 대한 분석이 이루어지지 않았다.

따라서 본 논문에서는 깊이 카메라를 이용하여 호흡률을 측정하는 것에 대해 영향을 주는 요인들에 대하여 분석을 하였다. 첫째로는 깊이 카메라가 가지는 깊이 값의 부정확성에 대하여 실험을 하였다. 이 실험에서는 거리에 따라 깊이 카메라에서 얻은 깊이 값의 정확도와 깊이 영상이 가지고 있는 깊이 값의 국부적인 비대칭성에 대해서 분석하였다. 두 번째는 깊이 카메라의 기울기 정도에 따라 깊이 값의 차이가 얼마나 정확히 측정되는지에 대해 실험을 하였다. 셋째로는 깊이 카메라가 가지고 있는 노이즈가 호흡률을 측정하는데 주는 영향과 호흡 신호를 계산하는 윈도우 사이즈의 크기에 따라 노이즈가 얼마나 감소하는지에 대하여 실험하였고 넷째로 주위 조도가 깊이 값에 주는 영향에 대해서 분석하였다. 마지막으로 사람을 대상으로 실제 환경에서 호흡률을 측정하고 정확도를 분석하였다.

2. 영향 요인 분석

영향 요인을 분석하는데 있어서 사용한 깊이 카메라는 Creative®에서 제작한 Creative Senz3D를 사용하였다. 깊이 값의 정확도를 분석하는데 깊이 측정은 카메라와 실험대상의 거리가 20~120 cm인 환경에서 이루어졌으며, 깊이 카메라의 영상 획득 전에 깊이 영상에 격자를 그어 정육각형 물체의 각 변이 격자에 맞도록 하여 카메라를 정면으로 고정 시켰다. 실험 대상은 사람이 아닌 평평한 사물을 촬영하여 실험을 진행하였다. 본 논문에서는 편의를 위해 평평한 사물을 평면이라고 표현하였다.

2.1. 깊이 영상 영역에 따른 영향 분석

깊이 영상의 영역에 따른 깊이 정확도를 분석하기 위해서 깊이 카메라의 정면에 평면을 놓고 평면과 카

메라 사이의 거리를 20~120 cm로 바꿔가면서 평면을 촬영한 후 각 영상마다 Fig. 1과 같이 영역을 나누어 거리가 변함에 따라 각 영역에서의 깊이 값의 오차 정도를 측정하였다.



Fig. 1. Local division of depth image

오차 값은 아래 Equation (1)과 같이 깊이 카메라에서 측정된 깊이 값에서 카메라와 평면 사이의 실제 거리를 빼서 계산하였다.

$$Depth\ Error(mm) = d_{measure} - d_{real} \quad (1)$$

$d_{measure}$ 과 d_{real} 은 차례대로 깊이 카메라에서 측정된 깊이 값과 카메라와 평면 사이의 실제 거리이다. Fig. 2를 보면 측정 거리가 증가함에 따라 오차가 점차적으로 증가하였고, Fig. 3과 Table 1에서 깊이 영상의 오른쪽 부분은 실제 값보다 깊이가 크게 측정되고, 왼쪽 부분은 실제 값보다 깊이가 작게 측정되어 영역에 따라 비대칭적으로 깊이 값의 분포가 나타남을 확인하였다.

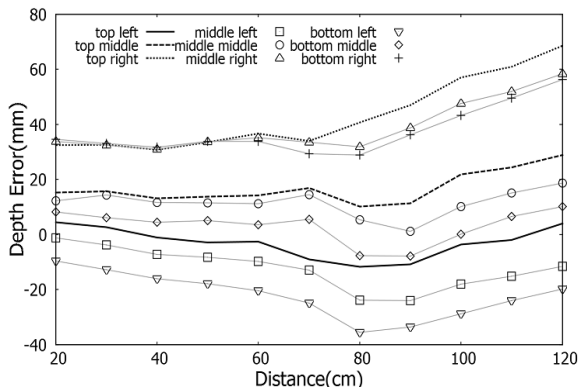


Fig. 2. Depth error between the real distance and the local depth

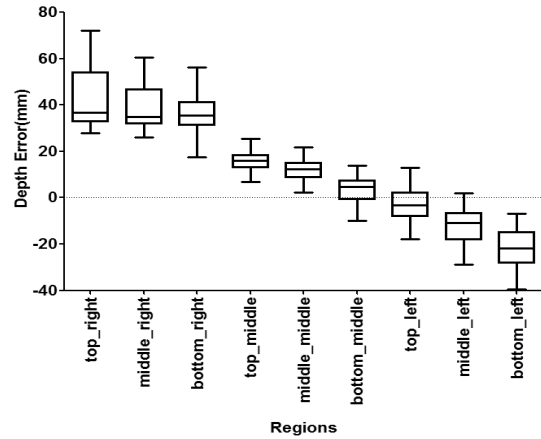


Fig. 3. Box-plot of depth error between the image regions

Table 1. Average and standard deviation of depth error between the image regions

Image Regions	Average Depth Error(mm)	Standard Deviation(mm)
top_right	43.09	13.41
middle_right	38.89	9.58
bottom_right	37.32	9.46
top_middle	16.85	6.66
middle_middle	11.44	5.04
bottom_middle	3.10	6.43
top_left	-2.99	7.13
middle_left	-12.36	7.88
bottom_left	-22.14	8.52

호흡률의 정확한 측정을 위해서는 깊이 값의 변화가 제대로 측정되어야 한다. 이를 위해서 깊이 값의 차이가 제대로 계산되는지 실험하였다. 실험 방법은 카메라를 정면에 고정시켜 놓고 평면을 10 cm 마다 이동하며 촬영을 한 후 각 10 cm 간격마다 깊이 값의 차를 구하여 오차가 얼마만큼 되는지를 계산하였다. 오차 값은 깊이 값을 빼서 나온 값에서 실제 차이가 나는 거리를 빼서 계산하였다. 수식은 아래와 같다.

$$Difference\ Error(mm) = difference_{measure} - difference_{real} \quad (2)$$

$difference_{measure}$ 과 $difference_{real}$ 은 차례대로 깊이 카메라에서 측정된 깊이 값의 차이와 실제 차이가 나는 거리이다. 위의 실험 환경에서 $difference_{real}$ 은 평면을 10 cm 마다 이동하여 촬영을 하였으므로 항상

10 cm가 된다. Fig. 4는 깊이 영상 영역마다의 깊이 값의 차에 대한 오차이다. Table 2에서 20~60 cm 구간에서는 오차 값이 작고 70 cm 이상 거리가 멀어지면서 평균 오차와 이에 대한 표준편차가 증가하였다. 그래프에는 오차가 큰 110~120 cm 구간을 제외하고 표시하였다.

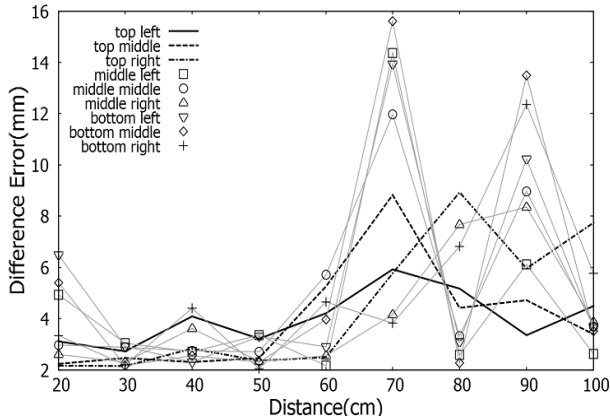


Fig. 4. Depth difference error between the real distance and the calculated depth difference

Table 2. Average and standard deviation of difference error between the real distance and the calculated depth difference

Distance(cm)	Average Difference Error(mm)	Standard Deviation(mm)
20	3.69	1.58
30	2.54	0.63
40	3.06	0.98
50	2.68	0.82
60	3.77	1.49
70	9.38	4.50
80	4.93	2.61
90	8.20	4.09
100	4.26	3.93

2.2. 깊이 카메라의 기울어짐에 따른 영향 분석

깊이 카메라의 위치에 따른 정확도 분석을 위하여 깊이 카메라를 측정 대상이 정면에 있을 때를 기준으로 좌우 그리고 위아래로 5°씩 옮겨가며 실험을 진행하였다. 실험은 깊이 카메라의 위치를 바꾼 후 카메라를 고정시키고 측정 사물을 촬영한 후, 사물을 카메라가 정면에 위치했을 때의 방향으로 10 cm 옮겨 다시 촬영을 하여 깊이 카메라에서 측정된 깊이

값이 얼마나 차이가 나는지 보았다. 깊이 차는 아래 Equation (3)을 이용하여 계산하였다.

$$Depth\ Difference(mm) = d_{t1} - d_{t2} \quad (3)$$

d_{t1} 과 d_{t2} 는 차례대로 사물을 옮기기 전에 깊이 카메라에서 측정된 깊이 값과 사물을 카메라의 정면에 위치했을 때 방향으로 10 cm 옮겨 다시 촬영했을 때 카메라에서 측정된 깊이 값이다. 실험 결과는 Fig. 5, 6, 7, 8과 Table 3, 4, 5에 각각 나타내었다. Fig. 5, 6, 7, 8은 순서대로 위아래 좌우로 5°씩 카메라를 옮겨가며 거리에 따라 깊이 카메라에서 측정된 깊이 값의 차를 보여주고 있다. 범례에 표시된 값은 오차가 큰 110~120 cm를 제외한 20~100 cm에서 10 cm 간격으로 측정 거리를 변경해가면서 계산한 깊이 값의 차를 나타낸 것이다. Table 3, 4는 위아래 좌우로 5°씩 카메라를 옮겨가며 20~100 cm 거리에서 깊이 차의 계산 값을 평균한 값과 실제 값과의 오차, 그리고 이에 대한 표준 편차를 나타낸다. Fig. 5, 6, 7, 8에서 거리에 따른 깊이 값 차의 변화 패턴은 발견할 수 없었고, Table 3, 4에서 깊이 카메라의 기울어짐에 따른 각도가 커질수록 깊이 값의 차이가 증가하였다. 이에 대한 추론통계 방법으로 반복측정 분산분석(Repeated Measures ANOVA)을 이용하였다. Table 5는 분산분석의 결과를 나타낸다. Table 5에서 네 방향(Upper, Lower, Left, Right direction) 모두 카메라와 측정 대상의 각도에 따른 깊이 값의 평균 차이 값에 유의한 차이가 있음을 알 수 있다.

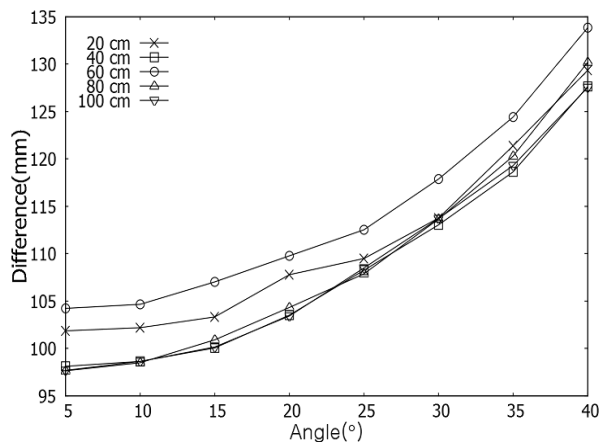


Fig. 5. Calculated depth difference (distance between 20~100 cm) - Upper direction

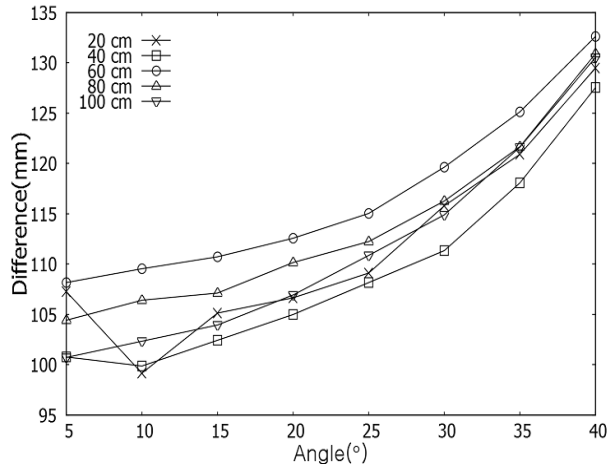


Fig. 6. Calculated depth difference (distance between 20~100 cm) - Lower direction

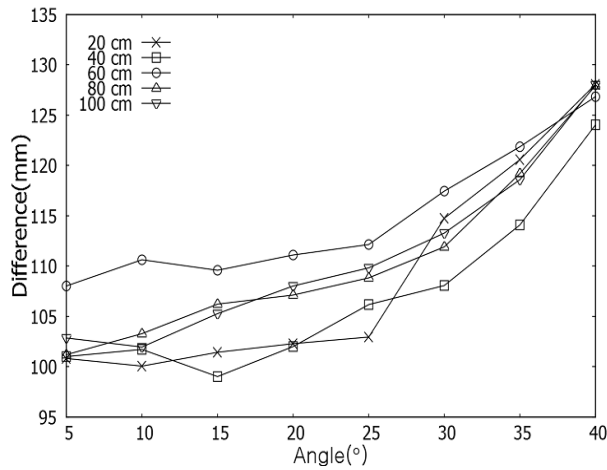


Fig. 7. Calculated depth difference (distance between 20~100 cm) - Left direction

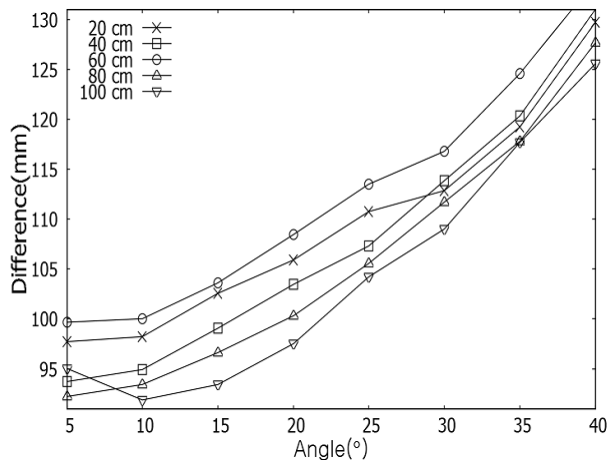


Fig. 8. Calculated depth difference (distance between 20~100 cm) - Right direction

Table 3. Average Difference between camera angle 5°~40°

Angle (°)	Average Difference(mm)			
	Upper	Lower	Left	Right
5	100.90	101.13	99.57	101.72
10	101.74	101.25	99.90	102.34
15	103.63	103.04	100.75	105.77
20	106.70	105.30	102.16	109.33
25	110.33	108.42	104.65	114.33
30	115.75	112.28	108.74	119.77
35	122.18	118.39	114.62	126.88
40	130.70	127.28	122.60	136.07

Table 4. Standard deviation between camera angle 5°~40°

Angle (°)	Standard Deviation(mm)			
	Upper	Lower	Left	Right
5	5.89	5.71	5.77	5.76
10	5.76	5.56	5.66	5.74
15	5.78	5.46	6.01	5.70
20	5.60	5.29	6.00	5.56
25	5.23	5.50	5.40	5.59
30	4.82	5.28	5.48	5.40
35	4.58	5.07	4.77	5.10
40	4.25	4.85	4.73	5.07

Table 5. Results of repeated measures ANOVA of Average Difference

Source	SS	df	MS	F	p
Upper Direction	7175.72	7	1025.10	1622.36	p<.001
Lower Direction	5598.50	7	779.78	465.65	p<.001
Left Direction	4654.22	7	664.88	201.87	p<.001
Right Direction	9419.09	7	1345.58	930.92	p<.001

*SS: Sum of Squares, *MS: Mean Square

2.3. 카메라 노이즈의 영향

깊이 카메라가 가지고 있는 노이즈의 영향을 측정하기 위해서 깊이 카메라의 정면에 평면을 위치시키고 카메라와 평면 사이의 거리를 바꿔가면서 평면을 촬영하였다. 평면의 촬영은 카메라를 고정시킨 후 4800~5000 개의 영상을 연속적으로 촬영하여 깊이 값의 변화가 어떻게 변하는지 보았다. Fig. 9는 카메라와 평면 사이의 거리가 20 cm에서 획득한 깊이 영상 middle_middle 영역에서 하나의 픽셀의 깊이 값 변화를 영상의 인덱스(index)에 따라 그린 것이다.

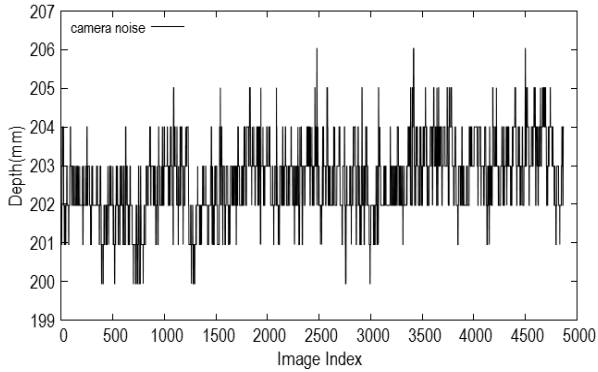


Fig. 9. Changes of the depth along with image index

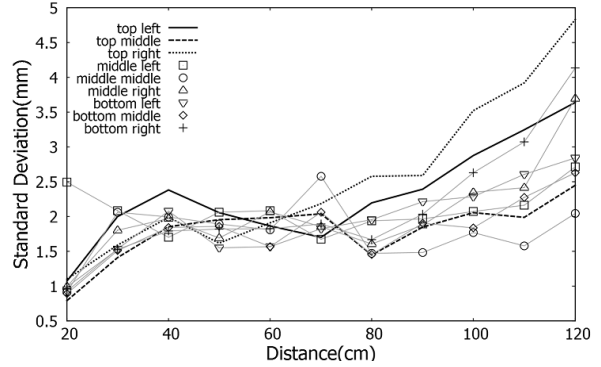


Fig. 10. Standard deviation of random noise (distance between 20~120 cm)

Fig. 9를 보면 실제로 카메라가 고정되어 있어도 깊이 값이 끊임없이 지속적으로 변하고 있음을 볼 수 있다. Fig. 10은 Fig. 9에서와 같이 영상의 인덱스를 따라서 변화하는 깊이 값의 표준편차를 영역별로 계산하여 노이즈의 크기를 구하였다. 그래프를 보면 거리에 따라 깊이 영상의 영역마다 한 픽셀에서 변화하는 깊이 값의 표준편차를 계산한 결과를 보여준다. 그래프에서 20 cm에서 표준편차가 약 1 mm로 최소를 보여주고 30~70 cm 구간에서는 약 2 mm를 유지하다가 80 cm 이상의 구간에서는 점차 증가하는 추세를 보여주고 있다. 영역 별 표준편차는 30~70 cm 구간에서는 모든 영역이 약 2 mm의 표준편차를 유지하고 80 cm 이상의 구간부터 가장 중간 부분인 middle_middle 영역에서 표준편차가 가장 낮고 영상의 모서리 부분으로 갈수록 표준편차가 증가하였다. Fig. 11에서는 한 픽셀이 아니라 윈도우 크기를 변경시켜 가면서 노이즈의 표준편차 크기가 얼마나 감소하는지 실험해 보았다. 이 실험에서는 20 cm에서 촬영한 평면의 영역 중 middle_middle 영역을 선택하여 노이즈의 표준편차 크기의 감소 정도를 실험하였다. 윈도우의 크기는 1부터 51까지 변경하였고 그래프에서는 중간 일부 값들을 제외하고 표시하였다. 그래프 범주의 숫자는 윈도우의 가로 크기를 표시한 것이며 윈도우는 가로 세로 크기를 같게 하였다. 그래프에서 윈도우의 크기가 1에서 3으로 증가할 때는 표준편차의 크기가 제일 크게 감소하고 그 이후로 윈도우의 크기가 증가할수록 표준편차가 감소하는 것을 볼 수 있고 감소의 크기는 점점 줄어들었다. 윈도우 크기 7부터는 눈에 띄는 표준편차의 감소 효과가 없었다.

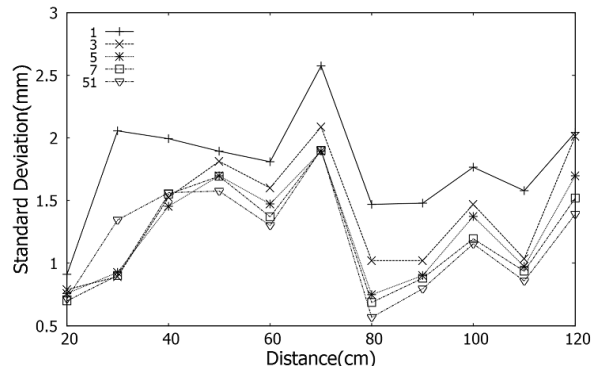


Fig. 11. Decreasing standard deviation of random noise caused by increasing window size

2.4. 주위 조도에 따른 영향

주위의 조도가 깊이 카메라에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 0 lux를 기준으로 310 lux, 340 lux, 860 lux 각각 에서 깊이 값이 어떻게 달라지는지 평면을 촬영하여 실험을 진행하였다. 실험 환경은 카메라를 평면의 정면을 바라보도록 하고 거리를 30 cm로 고정시켜 놓은 후 주위 조도를 변경시키면서 평면을 촬영하였다. 각각 lux의 기준은 310과 340 lux의 경우 실내에서 형광등이 켜져 있을 때의 밝기이고 860 lux는 손전등을 비추었을 때의 밝기이다. 0 lux의 환경을 기준으로 주위 밝기가 깊이 값에 미치는 영향을 알아보기 위하여 0 lux에서 촬영한 깊이 영상과 각기 다른 밝기에서 촬영한 깊이 영상의 각각 픽셀을 빼주고 절대 값을 취한 후 평균을 구하였다. 그 결과는 Table 6과 같다. 실험 결과를 보면 다양한 조도에 따라 0 lux에서 촬영한 깊이 영상이 각기 다른 lux에서 촬영한 깊이 영상과 깊이 값이 크게 차이가 나지 않아 깊이 카메라의 깊이 값은 주위 조도에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

Table 6. Depth difference comparison-0 lux with various ambient light

Ambient light(lux)	Depth difference(mm)
310	1.99
340	1.67
860	1.95

2.5. 호흡률 측정

호흡률 측정은 깊이 카메라의 정면에 실험 대상을 위치시키고 노이즈의 크기가 비교적 작은 40~70 cm의 거리에서 실험을 진행하였다. 마스크의 크기는 160×200로 카메라 노이즈의 영향을 최소화 할 수 있도록 하였다. 실험 대상은 정확한 호흡 횟수 측정을 위해서 숨을 충분히 내쉬 상태에서 20회만 호흡하도록 요청하였으며 호흡 신호는 연속적으로 촬영한 영상의 마스크 내의 깊이 값을 평균내서 계산하였다. Fig. 12는 깊이 카메라를 이용해 얻은 호흡 신호를 나타내며 x축은 초 단위의 시간을 나타내고 y축은 마스크 내 영역의 평균 깊이 값을 나타낸다. 그래프에서 볼 수 있듯이 호흡 신호에서 피크가 되는 점을 찾아 개수를 세어 본 결과 실제 호흡 횟수와 같은 20개가 검출됨을 확인하였다.

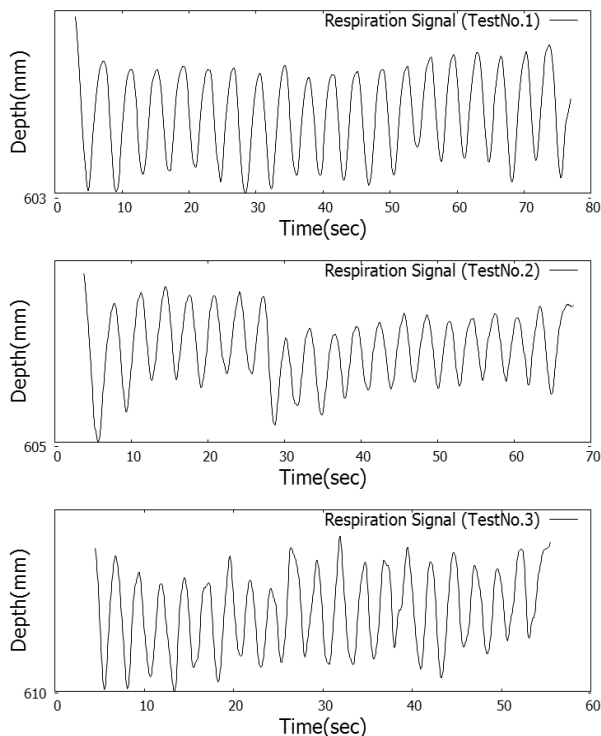


Fig. 12. Respiration signal with 20 breathing (Test No.1~3)

3. 결론 및 고찰

본 논문에서는 감정 측정에 있어 중요한 요인인 호흡률을 깊이 카메라를 이용하여 측정하는 것에 대한 영향을 분석하였다. 깊이 영상 영역에 따른 영향 분석에서는 카메라와 측정대상의 거리가 늘어남에 따라 깊이 영상의 깊이 값의 오차가 증가하였다. 또한 영상의 오른쪽 부분은 실제 값보다 깊이가 크게 측정되고, 왼쪽 부분은 실제 값보다 깊이가 작게 측정되어 깊이 값의 비대칭성을 가지고 있음을 알 수 있었다. 카메라의 기울기에 따른 영향을 실험한 것은 깊이 카메라의 기울기 정도가 커지면서 오차 값이 비약적으로 증가하였다. 그리고 카메라 노이즈의 영향은 20 cm에서 제일 적었고 30~70 cm 구간에서 일정하게 유지되다가 그 이상으로 거리가 멀어질 시에 증가함을 알 수 있었다. 또한 윈도우 사이즈가 커짐에 따라 노이즈의 표준편차가 감소하였다. 주위 밝기가 깊이 값에 주는 영향은 거의 없었다. 마지막으로 실제 사람을 대상으로 호흡 신호를 측정하고 호흡수를 계산하여 실제 호흡수와 비교해 본 결과 정확히 일치함을 확인하였다.

호흡률은 감정의 분석이 있어서 밀접한 영향을 준다. 불안한 감정의 정도가 증가함에 따라 호흡률이 증가하는 것 같이 감정의 변화에 따라 호흡률의 패턴은 극명하게 차이를 보인다. 본 연구에서는 감정의 해석에 영향을 주는 호흡률을 깊이 카메라를 이용해 측정하는 것에 대한 기초 연구로 호흡률의 정확도에 영향을 미치는 요인들과 그 요인들이 호흡률 측정에 얼마나 영향을 미치는지에 대해 분석하였다. 이는 향후 호흡 신호 측정 시스템에 기여가 가능하고 이 시스템을 통해서 감정의 영향을 분석하는 연구에 도움이 되도록 이바지 할 수 있을 것으로 보인다. 또한 호흡률뿐만 아니라 심전도, 피부전도도, 체온 등의 감정과 관련된 특징 신호를 통해 감정을 구분해 내는 시스템을 구성하는데도 도움이 될 수 있을 것이다. 추후에 실험을 통하여 실제 환경에서 검증된 호흡 신호 측정 장치와 비교하여 정확도를 측정하는 연구가 지속적으로 필요할 것이고, 측정 대상의 움직임이나 자세를 교정해주거나 노이즈를 줄이는 방법 등에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Aliverti, A., Dellaca, R., Pelosi, P., Chiumello, D., Pedotti A., & Gatinoni, L. (2000). Opto-electronic plethysmography in intensive care patients. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 161, 1546-1552.
- Bernacchia, N., Scalise, L., Casacanditella, L., Ercoli, I., Marchionni, P., & Tomasini, E. P. (2014). Non contact measurement of heart and respiration rates based on kinect. *Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2014 IEEE International Symposium on IEEE* (pp. 4-8).
- Cho, H. K., Lee, J. H., Lee, C. K., & Lee, M. H. (2006). An exploratory research for development of design of sensor-based smart clothing. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 9(2), 141-150.
- Cho, H. K. & Min, S. D. (2012). A study of the basic design for smart clothing based on measurement of the respiration. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 15(4), 415-424.
- Devis, D., Gilberto, G., Guido, L., Massimiliano, P., Carlo, A., Sergio, B., Gianna, C., Walter, C., Massimo, M., & Juri, L. D. (2009). Non-contact detection of breathing using a microwave sensor. *Sensors*, 9(4), 2574-2585.
- Scopesi, F., Calevo, M. G., Rolfe, P., Arioni, C., Traggiari, C., Risso, F. M., & Serra, G. (2007). Volume targeted ventilation (volume guarantee) in the weaning phase of premature newborn infants. *Pediatric Pulmonology*, 42, 864-870.
- Singh, A., Lubecke, V., & Boric-Lubecke, O. (2011). Pulse pressure monitoring through non-contact cardiac motion detection using 2.45 GHz microwave doppler radar. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2011 Annual International Conference of the IEEE* (pp. 4336-4339).
- Tahavori, F., Alnwaimi, B., Alnowami, M., Copland, M., & Wells, K. (2012). A quantitative assessment of using the kinect for xbox360 for respiratory surface motion tracking. *SPIE, Medical Imaging*, 8316, 83161T.
- Yu, M. C., Liou, J. L., Kuo, S. W., Lee, M. S., & Hung, Y. P. (2012). Noncontact respiratory measurement of volume change using depth camera. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2012 Annual International Conference of the IEEE* (pp. 2371-2374).
- Creative Technology Ltd (2015). CREATIVE SENZ3D. Retrieved from November 10, 2015, <http://asia.creative.com/p/web-cameras/creative-senz3d>

원고접수: 2016.02.15

수정접수: 2016.04.29

게재확정: 2016.06.29